

# Algunas experiencias sobre el efecto de la re-inyección en la capacidad de carga de anclajes en suelo

José GONZÁLEZ<sup>a,1</sup>, Rogelio MONROY<sup>a</sup>, Sergio VILLAR<sup>a</sup>, Jose CLAVELLINA<sup>a</sup>  
y Juan PAULÍN<sup>a</sup>  
<sup>a</sup> Soletanche Bachy México (CIMESA)

**Resumen.** La capacidad de carga de un anclaje en suelo se deriva de la resistencia al esfuerzo cortante desarrollado en el suelo cercano a la superficie de contacto con el bulbo. De tal forma que si conoce dicho esfuerzo y las dimensiones del bulbo es posible calcular la capacidad de carga. Sin embargo, la geometría real del bulbo suele diferir de la teórica en mayor o menor medida en función de la estructura del suelo, permeabilidad, grado de cementación y método constructivo. De los factores mencionados generalmente solo se puede influir sobre el método constructivo si se busca incrementar la capacidad de carga, siendo determinante el proceso de inyección. En general la inyección a alta presión tiene un efecto positivo sobre la capacidad de carga, no obstante, ésta debe hacerse de forma controlada dados los efectos que puede tener en el terreno y estructuras aledañas (por ej. levantamientos, grietas). Actualmente existen metodologías reconocidas para estimar de forma teórica la capacidad en función de la presión de inyección y el tipo de suelo. Pero en todo caso solo pueden considerarse como una estimación o pre-diseño que debería ser verificado por medio de pruebas de carga de tipo preliminar o de investigación. Se exponen algunas experiencias referentes al efecto de la inyección y re-inyección en anclajes de prueba y de producción para muros de sostenimiento en algunas obras del Valle de México.

**Palabras Clave.** Anclaje, Inyecciones, tensión, fluencia, carga última, carga crítica.

## 1. Introducción

Las anclas como elemento de contención son elementos de gran importancia para el éxito en una estructura, por lo cual es primordial la inyección para construir anclajes de alta capacidad, es de vital importancia conocer la influencia que tienen las inyecciones y reinyecciones en el suelo donde se alojan los bulbos de las anclas. Las anclas están compuestas principalmente por longitud bulbo, longitud libre y longitud de tensado. La longitud de bulbo queda en el fondo del barreno y se extiende una longitud suficiente para que se desarrollen las fuerzas de diseño; el terreno que circunda al bulbo está sometido a esfuerzos cortantes en la interfaz bulbo-suelo que equilibran a las fuerzas de tensión en torón o barra. Dentro de este bulbo se inyecta lechada con objeto de incrementar los esfuerzos dentro del mismo y en el terreno circundante. La longitud libre es la zona en la cual no hay transferencia de cargas entre el ancla y el terreno circundante

---

<sup>1</sup> Corresponding Author, José GONZALEZ, Departamento de Ingeniería, Soletanche-Bachy CIMESA, Paseo de la Reforma piso 13, Ciudad de Mexico, Mexico; E-mail: gonzalez.jose@cimesa.net.

y los cables torones o barras se encuentran aislados del suelo. La longitud de tensado es la longitud expuesta que se requiere para tensar el ancla o para efectuar las pruebas correspondientes. Respecto a la inyección, esta crea una zona de transición de los esfuerzos del cable o la barra hacia el suelo, se admite que estos sellos funcionan con fricción lateral.

## 2. Capacidad de carga

Como concepto capacidad de carga se define como el esfuerzo que puede ser aplicado por una estructura al suelo que lo soporta, sin peligro de la falla, en términos generales la carga última se define como capacidad máxima de la resistencia a la tracción convencional para romper el sello de la longitud de bulbo y la carga crítica se define como la tracción desde la cual comienzan a ocurrir grandes desplazamientos debido a la fluencia del suelo en el sellado del ancla. Para calcular la capacidad última se cuenta con la expresión:

$$T_u = k\pi DL\sigma'_v \tan\delta \quad (1)$$

donde  $T_u$  : Carga Última;  $k$ : Coeficiente de incremento de capacidad de carga;  $D$ : Diámetro de perforación;  $L$ : Longitud del Bulbo;  $\sigma'_u$ : Esfuerzo efectivo a la mitad del bulbo y  $\tan\delta$ : coeficiente de fricción.

## 3. Proceso Constructivo

### 3.1. Perforación

La geometría del bulbo está en función del método constructivo y en particular de la forma en que se realiza la perforación, siendo los factores más importantes:

- Método de perforación. - Rotatorio, percusión, rotatorio – percusivo y sónico (vibraciones)
- Herramienta de perforación.- Barras, revestimiento o ademe, broca tricónica, “fishtail”, martillo de fondo, etc.
- Fluido de perforación.- Agua, aire, polímero, espuma, etc.

Debido a la gran cantidad de variables (a las cuales se añade el tipo de suelo), todas las recomendaciones y normas coinciden en que el método de perforación sea el que mejor se adapte a las condiciones del suelo (Tabla 1). En la práctica no es raro que el método de perforación cambie durante la ejecución basándose en el método de “prueba y error”, para diferentes zonas o profundidades dentro de un mismo proyecto.

Tabla 1. Inyección de vaina.

Recomendación / Norma	Requerimientos
PTI (2004) [1]	La mezcla debe ser bombeable y tener una resistencia de 21MPa al momento del tensado. El tipo de cemento debe considerar la existencia de sustancias agresivas.
TA-95 (1995) [2]	Seleccionar el tipo de cemento de acuerdo con la agresividad del terreno hacia el cemento y del cemento para con el torón.
DIN 4125 (1990) [3]	La relación agua cemento debe estar entre 0.35 y 0.70, manteniéndola lo más baja posible.
EN 1537: 2013 [4]	Se debe colocar tan pronto termine la perforación. Inyectar desde el fondo hasta que la consistencia del “grout” saliente sea igual a la del inyectado.

### 3.2. Inyección

Es recomendable en cualquier caso hacer una inyección primaria a gravedad (desde el fondo del barreno), la cual cumple con la función de formar el bulbo y una barrera de protección contra la corrosión. Debido a que es común el empleo de lechada agua-cemento, las recomendaciones y normas ponen énfasis en cuidar la relación agua/cemento y la potencial agresividad del cemento hacia el tendón. La Tabla 2 muestra los requerimientos relativos a la inyección primaria.

**Tabla 2.** Inyección de vaina.

Recomendación / Norma	Requerimientos
PTI (2004)	La mezcla debe ser bombeable y tener una resistencia de 21MPa al momento del tensado. El tipo de cemento debe considerar la existencia de sustancias agresivas.
TA-95 (1995)	Seleccionar el tipo de cemento de acuerdo con la agresividad del terreno hacia el cemento y del cemento para con el torón.
DIN 4125 (1990)	La relación agua cemento debe estar entre 0.35 y 0.70, manteniéndola lo más baja posible.
EN 1537: 2013	Se debe colocar tan pronto termine la perforación. Inyectar desde el fondo hasta que la consistencia del "grout" saliente sea igual a la del inyectado.

### 3.3. Post-Inyección

La post-inyección incrementa la resistencia a fricción del bulbo. En algunos casos puede omitirse si se demuestra que la inyección primaria es suficiente para que el anclaje cumpla con la resistencia necesaria.

Los dos tipos de inyección más usados en los trabajos de Post-inyección son el IGU (Inyección Global Única) y el IRS (Inyección Repetitiva Selectiva), la inyección global e individual (IGU) consiste en colocar bajo presión la cantidad de lechada elegida en un solo paso, lo anterior directamente desde un único obturador instalado, por ejemplo, en la parte superior de la futura zona de sellado. Por inyección repetitiva y selectiva (IRS) se entiende, en principio, cualquier inyección a alta presión llevada a cabo desde "un tubo de manguitos", en pasos sucesivos y fases repetidas". Se recomienda que el tubo del manguito sea de dos a tres orificios por metro, con al menos un manguito por metro de sellado. La inyección bajo presión no es una obligación. Los elementos sumergidos simultáneamente en lechada pueden sellarse suficiente, pero no podemos estar seguros de ello por adelantado, por lo tanto, siempre será necesario al menos proporcionar un sistema de inyección. Lo más importante es tener un sistema de reinyección (sistema con manguitos). De esta forma, incluso si se suelta durante el primer tensado, puede usarse después de una o más reinyecciones. La inyección de una vez no siempre logra la presión o la dimensión normal de la bombilla deseada, ya que es probable que la lechada escape a las grietas de agrietamiento de la tierra. la inyección en varias ocasiones permite, por el contrario, alcanzar altas presiones mientras se limitan las cantidades.

### 3.4. Puesta en tensión

Existen diferentes procedimientos para la puesta en tensión de anclas, sin embargo, el objetivo de este trabajo es resaltar los efectos de las reinyecciones en la capacidad de

carga en anclajes, por lo cual una prueba de tipo investigación de acuerdo a las recomendaciones francesas TA 95, el procedimiento consiste en la aplicación de carga inicial, aplicación de ocho incrementos escalonado hasta alcanzar la carga de prueba ó identificar la carga de falla (cada incremento se mantuvo por una hora) y midiendo el desplazamiento a los 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 60 minutos. Al concluir el tiempo de espera del último incremento se realizó la descarga en forma escalonada esperando un minuto cada vez hasta regresar a la carga inicial. Este procedimiento nos permite conocer la carga crítica de cada uno de los anclajes de acuerdo a las condiciones constructivas en cada caso.

#### 4. Casos Prácticos

A continuación, se presentan algunas experiencias del efecto de la re-inyección en la construcción de anclas de tipo temporal en varios sitios y bajo diferentes circunstancias.

##### 4.1. Espacio condesa (Establecimiento de parámetros previo al tensado de anclas de producción)

El proyecto en general trataba de la construcción de un conjunto formado por un edificio de vivienda de 35 niveles y un edificio para oficinas de 33 niveles, además de 12 sótanos para estacionamientos cubriendo la totalidad del predio, ubicado en la Col. Hipódromo Condesa, en México, D.F. En dicho proyecto se realizaron pruebas de tensado, las anclas de prueba fueron tipo 10T15 (N1-120 y N1-121), todas con longitud de bulbo de 15.0 m, inclinación de 17° y longitud libre es de 22.0 m. Las anclas de prueba reaccionan contra el muro Milán que forma parte del proyecto. La inyección del bulbo fue con base en el sistema IRS (“Inyección Repetitiva Selectiva”). Las pruebas fueron de tipo “destructiva”, es decir, se llevó a la falla geotécnica las anclas.

El proceso de tensado se realizó de acuerdo con las recomendaciones francesas TA95. Considerando el tipo de anclas, para las anclas tipo 10T15 se tiene:

- Capacidad estructural al límite de fluencia  $TP = 239.2 \text{ t}$
- Carga de prueba  $Te = 0.9TP = 215.3 \text{ t}$

##### 4.1.1. Ancla N1-120

Se realizaron dos pruebas de carga para esta ancla, de las cuales se puede destacar lo siguiente.

- a) Prueba 01: El ancla se construyó el 12/05/2017, según el reporte de perforación no se presentó algún inconveniente durante su construcción. La primera inyección se realizó el 13/05/2017 mediante el método IRS, sin embargo, no se pudieron romper los manguitos (A una presión Máxima de 40 bar) de la longitud de bulbo, por lo cual el consumo fue nulo. La prueba de tensado se realizó el 17/05/2017, no se alcanzó la carga máxima especificada (215.3 t), solo alcanzando 138.9 t. Con base en el registro de cargas y desplazamientos se obtuvo la gráfica carga – desplazamiento. Con lo anterior y utilizando la metodología de las recomendaciones francesas TA-95, se obtienen de las curvas de fluencia y se estima una carga crítica de 93.0 t (Figura 1a).

- b) Prueba 02: Debido a que la primera inyección no pudo romper los manguitos, se recomendó realizar la rotura de estos a la presión que fuera necesaria, por otro lado, los criterios de paro fueron 30 bar ó 165 l de consumo por cada manguito. Bajo las premisas anteriores el consumo total de lechada en la inyección fue de 1634 lts, de lo cual se puede resaltar que en los manguitos del fondo de la perforación el criterio de paro fue por volumen y del manguito 9 a 15 (parte superior de la longitud de bulbo), El criterio de paro fue por presión y consumiendo aproximadamente 82 litros por manguito.

La prueba de tensado se realizó el 23/05/2017, no se alcanzó la carga máxima especificada (215.3 t), pero se alcanzó el penúltimo escalón 185.2 t. Con base en el registro de cargas y desplazamientos se obtuvo la gráfica carga – desplazamiento y partiendo de las curvas de fluencia se estima una carga crítica de 155.0 t (Figura 1b).

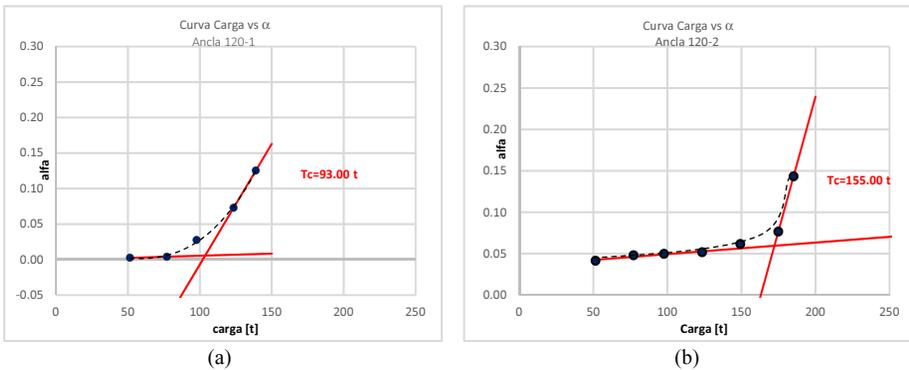


Figura 1. (a) Prueba en ancla 120 con primera Inyección; (b) Prueba en ancla 120 con segunda Inyección.

#### 4.1.2. Ancla N1-121

Se realizaron tres pruebas de carga para esta ancla, de las cuales se puede destacar lo siguiente:

- a) Prueba 01: El ancla se construyó el 12/05/2017, según el reporte de perforación el ancla se tuvo que re perforar dos veces, debido a que se encontró un obstáculo a 15 m aproximadamente. La primera inyección se realizó el 13/05/2017, sin embargo, no se pudieron romper los manguitos (40 bar) de la longitud de bulbo, por lo cual el consumo fue nulo. La prueba de tensado se realizó el 18/05/2017, no se alcanzó la carga máxima especificada (215.3 t), alcanzando solo 77.2 t (segundo escalón). Desafortunadamente para esta prueba no hay datos suficientes para poder calcular la carga crítica, se presenta las curvas de fluencia para esta prueba (Figura 2 a).
- b) Prueba 02: Debido a que la primera inyección no pudo romper los manguitos, se recomendó realizar la rotura de estos a la presión que fuera necesaria, los criterios de paro a 30 bar ó 165 lts de volumen por cada manguito. Bajo las premisas anteriores el consumo total de lechada en la inyección fue de 1815 lts, de lo cual se puede resaltar que 11 de los 15 manguitos pararon por volumen (165 lts). La segunda prueba de tensado se realizó el 24/05/2017, no se alcanzó la carga máxima especificada (215.3 t), alcanzando solo 87.5 t. (tercer escalón). Con base en el registro de cargas y desplazamientos se dibujó la gráfica carga – desplazamiento.

Desafortunadamente para esta prueba no hay datos suficientes para poder calcular la carga crítica. se presenta las curvas de fluencia para esta prueba (Figura 2b).

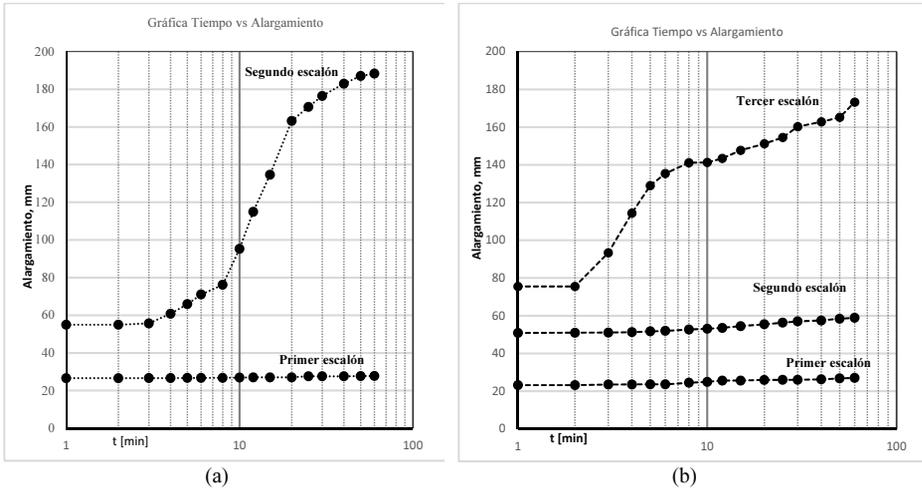


Figura 2. Ancla 121: (a) Prueba 1; (b) Prueba 2.

- c) Prueba 03: Debido al resultado obtenido, se instruyó realizar una tercera campaña de inyección en esta ancla. Los criterios de paro fueron los anteriormente establecidos (30 bar o 165 lts), el total de consumo de la inyección fue de 574 lts, de lo cual se puede resaltar que solo se inyectaron 7 manguitos (los más profundos).

La tercera prueba de tensado se realizó el 29/05/2017, no se alcanzó la carga máxima especificada (215.3 t), alcanzando solo 87.5 t. Con base en el registro de cargas y desplazamientos, con la experiencia obtenida en las pruebas anteriores se decidió realizar escalones de carga intermedios con el fin de tener mayor información, por lo anterior y apoyándose en las curvas de fluencia se estima una carga crítica de 69.0 t (Figura. 3).

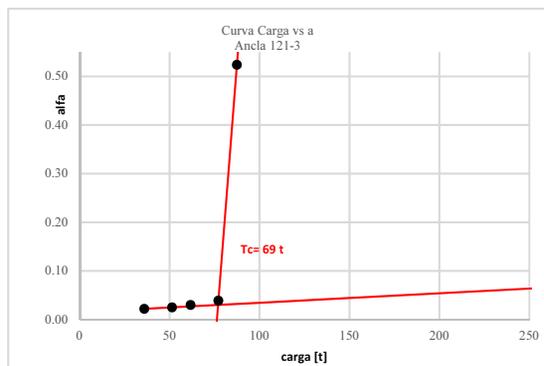


Figura 3. Carga crítica en ancla 121 con la tercer Inyección.

Dado lo obtenido, para asegurar que, durante la puesta en tensión de las anclas de producción, se decidió adoptar que todas las anclas de los tres primeros niveles, fueron

inyectadas asegurando la ruptura la vaina con la presión que sea necesaria y posteriormente con los criterios de paro de 150 lt ó 30 bar.

#### *4.2. Atana Lindavista (Re-establecimiento de parámetros durante la etapa de tensado de anclas de producción)*

El proyecto Atana Lindavista se encuentra ubicado en la Col. La Purísima Ticoman Del. Gustavo A. Madero CDMX. Los trabajos consistieron en la construcción de anclas pasivas y activas, Muro de concreto lanzado y Pilas circulares. Se realizaron 2 pruebas de carga a la ruptura en dos anclajes construidos el interior del predio con el fin de determinar la carga crítica en condiciones representativas del proyecto.

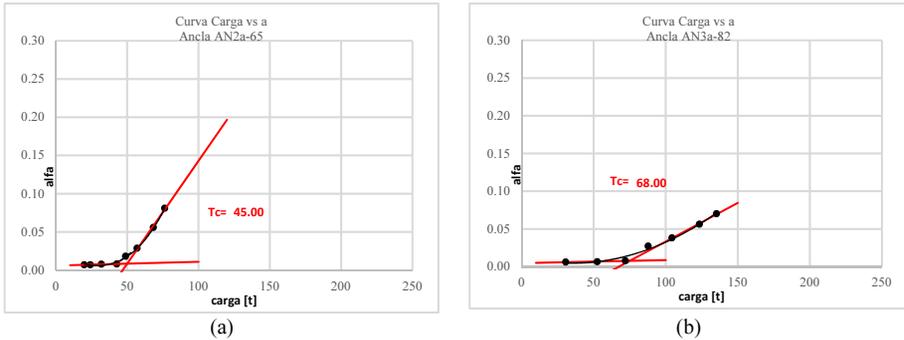
La estratigrafía está compuesta por limo arenoso en los primeros cuatro metros, seguido por arcilla limos (2,3 m), seguido por un estrato de arena (3.7 m), posteriormente arcilla de alta plasticidad (3.5 m), arena arcillosa (3.15 m), intercalaciones de arcilla con arena (1.5 m), seguido por limos arenosos compactos (5.15 m)

Ancla AN3a-82:

Probada el día 20-12-17, la perforación se realizó con un diámetro de 8". Para cada incremento de carga se dibujó una curva de fluencia. Se observa que el inicio de la fluencia es a partir de las 87. t, incrementándose ésta en forma paulatina para cada incremento de carga. La carga crítica calcula para el ancla AN3a-82 fue de 68.0 t como se observa en la gráfica de la Figura 4a. Ya que la prueba dio una capacidad de carga muy pequeñas, se decidió realizar un programa de inyección donde el criterio de paro por volumen fue de 160 lts por manguito, y se reinyectaron las veces necesarias hasta alcanzar el criterio de paro por presión (25 bar). Lo anterior fue de gran beneficio para el proyecto. En particular para el ancla AN3a-82 se realizaron 2 inyecciones paulatinamente la ganancia por cada una de las reinyecciones fue de aproximadamente 3% de la capacidad de carga, se realizó una prueba de recepción la cual fue de 92 t (por arriba de la carga crítica de la prueba de investigación inicial), por otro lado la carga a la cual quedó bloqueada esta ancla fue de 80 t.

##### *4.2.1. Ancla AN2a-65*

Probada el día 21-12-17, la perforación se realizó con un diámetro de 6". Para cada incremento de carga se obtuvo una curva de fluencia, se observa que el inicio de la fluencia es a partir de las 49.1. t, incrementándose ésta en forma paulatina para cada incremento de carga. La carga crítica calcula para el ancla AN2a-65 fue de 45.0 t como se observa en la gráfica de la Figura 4b. Ya que la prueba dio una capacidad de carga muy pequeñas, se decidió realizar un programa de inyección donde el criterio de paro por volumen fue de 160 lts por manguito, y se reinyectaron las veces necesarias hasta alcanzar el criterio de paro por presión (25 bar). Lo anterior fue de gran beneficio para el proyecto. En particular para el ancla AN2a-65 se realizaron 4 inyecciones paulatinamente la ganancia por cada una de las reinyecciones fue de aproximadamente 13% de la capacidad de carga, se realizó una prueba de recepción la cual fue de 69 t (por arriba de la carga crítica de la prueba de investigación inicial), por otro lado la carga a la cual quedó bloqueada esta ancla fue de 60 t pero con la seguridad de que puede llegar a una carga de servicio de hasta 69 t sin presentar algún inconveniente, lo anterior debido a la capacidad de carga ganada durante las campañas de reinyección, la ganancia fue del 53% respecto a la carga crítica.



**Figura 4.** Pruebas de tensado Atana Lindavista: (a) Ancla AN2a-65, y (b) Ancla AN3a-82.

### 4.3. Asamblea Legislativa- San Jose de Costa Rica (comparativa Inyección IGU vs IRS)

El proyecto “Asamblea Legislativa” consistía en la construcción de una edificación de 18 niveles y hasta cinco sótanos de estacionamiento en un predio de aproximadamente 5,000 m<sup>2</sup> de superficie ubicado en la zona metropolitana de San José, Costa Rica. Para alojar los sótanos de estacionamiento se construirá un cajón de cimentación con un muro Milán perimetral de 0.6 m de espesor y profundidades de desplante variables, en promedio 15 m; sostenido por varios niveles de anclas activas temporales. Se realizaron dos pruebas de tensado a la ruptura con el fin de determinar la carga crítica en condiciones representativas del proyecto. La estratigrafía del sitio consiste en un estrato de limos con arena (2 m), seguido por un estrato de limo con arcilla (espesor 11.8 m), seguido por un estrato de toba (9.45 m) y un lahar de 11.30 m.

#### 4.3.1. Ancla ANC-P01:

Ancla probada el día 08-09-17, la inyección se realizó mediante el método IGU. Se observa que el inicio de la fluencia es a partir de las 138.9 t, incrementándose ésta en forma paulatina para cada incremento de carga. La carga crítica calcula para el ancla ANC-P01 fue de 122.0 t como se observa en la gráfica de la Figura 5a.

#### 4.3.2. Ancla ANC-P02:

Ancla probada los días 06-09-17 y 09-09-17 la inyección se realizó mediante el método IRS de la cual los manguitos que admitieron lechada fueron los numero 4, 5, 8, 9 y 12.

Para cada incremento de carga se dibujó una curva de fluencia. Se observa que el inicio de la fluencia es a partir de las 246.9 t. La carga crítica calcula para el ancla ANC-P02 fue de 201.0 t como se observa en la gráfica de la figura 5b. EL método IRS, según las pruebas de tensado incrementa la capacidad de carga en un 64.7 % respecto a una inyección IRS, lo cual permitió optimizar el diseño en la etapa de construcción, con la premisa de la utilización de inyección de tipo IRS.

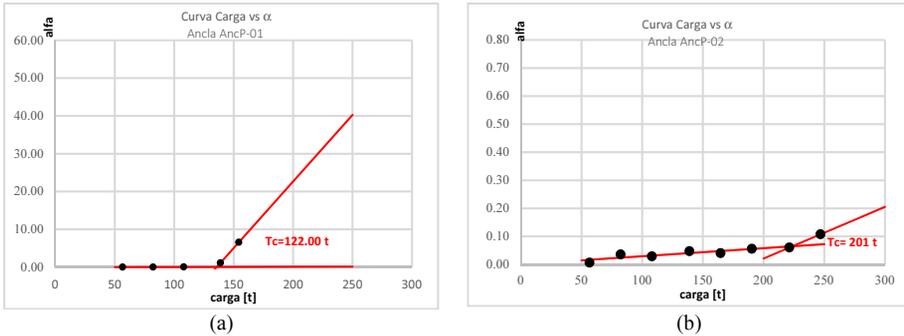


Figura 5. (a) Prueba de tensado Con inyección IGU, y (b) Prueba de tensado con inyección IRS.

## 5. Conclusiones

El método constructivo y de inyección utilizado puede repercutir en la capacidad de carga de los anclajes.

Respecto a obras donde se requiere ajustar los parámetros de inyección por problemas de puesta en tensión depende de la ganancia de la capacidad de carga de los anclajes. Sería una práctica deseable en el inicio de una obra de anclaje realizar pruebas de tensado para ajustar o determinar parámetros de inyección en beneficio de la obra.

La carga crítica determinada en cualquier modalidad permite conocer el valor de la carga que no debe rebasarse a fin de que el fenómeno de fluencia no se desarrolle al grado que el anclaje pierda su tensión y capacidad de ejercer una fuerza activa, una campaña de inyección efectiva ayuda para la ganancia de capacidad de carga de los anclajes. La Inyección IRS, es más efectiva que una inyección IGU, depende de las características de la obra y el suelo, pero mayormente siempre se cumple lo anterior.

## Referencia

- [1] PTI DC35.1-14 (2014), « Recommendations for prestressed rock and soil anchors », PTI
- [2] T.A.95 (1995), « Tirants d'ancrage recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle », Comité français de la mécanique de sols et des travaux de fondations
- [3] DIN 4125 (1990). « Ground anchorages design construction and testing », Deutsche norm NF EN 1537 (2013), European standard, « Execution of geotechnical special Works – Ground anchors ».